

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
24 décembre 2003 (24.12.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
WO 03/106009 A1

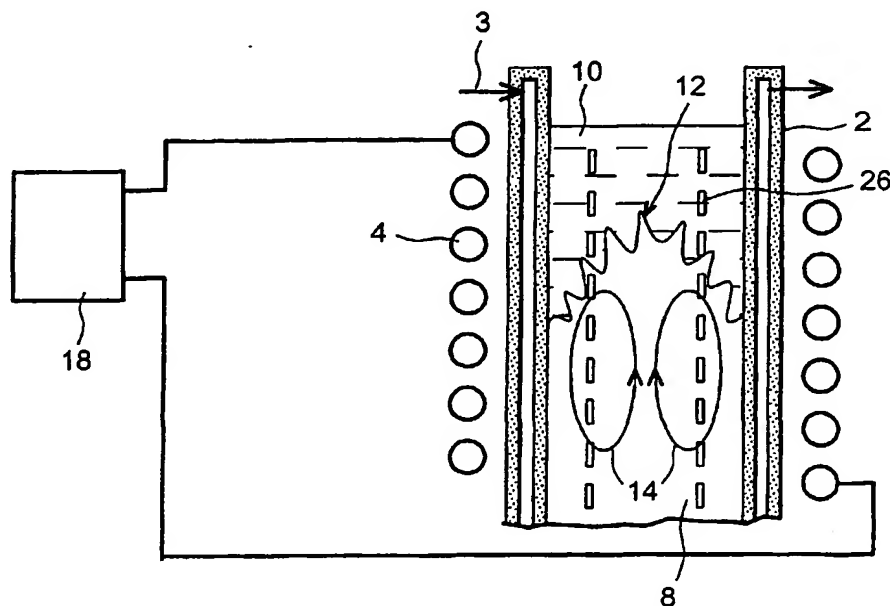
- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
B01F 13/08, C22B 9/00
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR03/01742
- (22) Date de dépôt international : 11 juin 2003 (11.06.2003)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
02/07262 13 juin 2002 (13.06.2002) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR];  
31/33, rue de la Fédération, F-75752 PARIS 15ème (FR).

- (72) Inventeurs; et  
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :  
BOEN, Roger [FR/FR]; Quartier Gazelles, F-30130  
SAINT-ALEXANDRE (FR). DESCHANELS, Xavier  
[FR/FR]; La Combe de Robin, F-30330 LE PIN (FR).  
LEMORT, Florent [FR/FR]; 17, Impasse des Colibris,  
F-30400 VILLENEUVE LES AVIGNONS (FR). PIC-  
CINATO, René [FR/FR]; 35, route des Trois Lucs à la  
Valentine, Quartier Les 3 Lucs, F-13012 MARSEILLE  
(FR). FAUTRELLE, Yves [FR/FR]; 2, Allée du Chateau,  
F-38240 MEYLAN (FR). ETAY, Jacqueline [FR/FR];  
7, allée de la Piat, F-38240 MEYLAN (FR). PERRIER,  
Damien [FR/FR]; 18 rue Jean Prévost, F-38000 GRENO-  
BLE (FR). ERNST, Roland [FR/FR]; 8 rue Pasteur,  
F-38610 GIERES (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: ELECTROMAGNETIC DEVICE FOR INTERFACIAL MELTING AND STIRRING OF DIPHASIC SYSTEMS, IN PARTICULAR FOR ACCELERATING METALLURGICAL OF PYROCHEMICAL PROCESSES

(54) Titre : DISPOSITIF ELECTROMAGNETIQUE DE FUSION ET D'AGITATION INTERFACIALE DE SYSTEMES DIPHA-  
SIQUES, NOTAMMENT POUR L'ACCELERATION DE PROCESSUS METALLURGIQUES OU PYROCHIMIQUES



(57) Abstract: The invention concerns an electromagnetic device for interfacial fusion and stirring of diphasic systems, in particular for accelerating metallurgical of pyrochemical processes. Said device comprises for example a crucible (2, 28), designed to contain a diphasic system, a field winding (4) enclosing said crucible and means (18) for powering the field winding with a double-component current, namely a high frequency component, which melts the system phases, and a low frequency component, which stirs the interface (12) of the phases.

[Suite sur la page suivante]



(74) Mandataire : LEHU, Jean; c/o BREVATOME, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 PARIS (FR).

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

(81) États désignés (national) : GB, JP, US.

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(57) Abrégé : Dispositif électromagnétique de fusion et d'agitation interfaciale de systèmes diphasiques, notamment pour l'accélération de processus métallurgiques ou pyrochimiques. Ce dispositif comprend par exemple un creuset (2, 28), pour contenir un système diphasique, un inducteur (4) entourant ce creuset et des moyens (18) d'alimentation de l'inducteur par un courant à deux composantes, à savoir une composante de haute fréquence, qui fait fondre les phases du système, et une composante de basse fréquence, qui agite l'interface (12) des phases.

**DISPOSITIF ELECTROMAGNETIQUE DE FUSION ET D'AGITATION  
INTERFACIALE DE SYSTEMES DIPHASIQUES, NOTAMMENT POUR  
L'ACCELERATION DE PROCESSUS METALLURGIQUES OU  
PYROCHIMIQUES**

5

**DESCRIPTION**

**DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention concerne un dispositif de fusion et d'agitation interfaciale d'un système diphasique.

Elle s'applique notamment à l'accélération de processus métallurgiques ainsi qu'à l'accélération de processus pyrochimiques.

15 **ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE**

Les procédés métallurgiques d'élaboration ou de raffinage mettent généralement en œuvre deux phases immiscibles entre lesquelles des échanges de matières se réalisent.

20 La fusion des phases peut être assurée de différentes manières, par exemple par effet Joule ou par induction.

L'agitation de l'interface des deux phases met en œuvre des moyens mécaniques ou pneumatiques. Cette agitation est indispensable à l'accélération des processus physico-chimiques afin d'atteindre des temps d'équilibre suffisamment courts pour que les procédés soient rentables.

La figure 1 est une vue schématique et partielle d'un dispositif connu, permettant de faire

fondre un système diphasique et d'agiter l'interface de ce système.

Ce dispositif connu comprend un creuset froid 2. Des moyens 3 de circulation d'eau permettent  
5 de refroidir ce creuset 2.

Le dispositif de la figure 1 comprend aussi un inducteur 4 qui entoure le creuset 2 et qui est alimenté par une source 6 de courant de haute fréquence, pour créer, dans le creuset 2, un champ  
10 électromagnétique de haute fréquence.

Ce champ engendre, dans le système diphasique contenu dans le creuset, des courants induits qui dissipent de la puissance par effet Joule et font fondre le système diphasique. Ce dernier est  
15 constitué de deux phases immiscibles, à savoir une phase inférieure 8 et une phase supérieure 10, qui sont séparées par une interface 12.

Les lignes 14 de la figure 1 symbolisent le brassage interne de la phase inférieure 8. Ce brassage  
20 est engendré par les courants induits.

Le dispositif de la figure 1 comprend aussi des moyens mécaniques 16 permettant d'agiter l'interface 12.

On peut envisager d'utiliser le dispositif  
25 "monofréquence" de la figure 1 avec le système diphasique dont la fusion conduit à une phase inférieure 8 constituée par un métal liquide et une phase supérieure 10 constituée par un sel fondu.

Il est possible de fondre ces phases en  
30 utilisant le creuset froid 2 (ou un creuset chaud) mais le transfert d'espèces chimiques vers la phase

supérieure 10 à partir de la phase inférieure 8 (qui est susceptible de contenir ces espèces chimiques) ne peut être effectué qu'avec une agitation suffisante de l'interface 12.

5 Or des milieux constitués par les phases 8 et 10 sont susceptibles de présenter une très forte réactivité qui empêche l'introduction d'une troisième phase dans ces milieux et interdit donc toute agitation mécanique ou pneumatique de ceux-ci.

10 En effet, une agitation mécanique (respectivement pneumatique) conduirait à introduire un solide (respectivement un gaz) dans ces milieux.

De plus, dans le cas où le milieu inférieur 8 est métallique, il s'avère que l'agitation  
15 électromagnétique liée à l'application d'une haute fréquence se limite à ce milieu métallique et n'a pas d'effet suffisant à l'interface 12 des milieux 8 et 10.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

20 La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients précédents. Elle permet :

- la fusion des phases dans un creuset froid ou un creuset chaud,
- l'agitation de la phase inférieure (qui  
25 peut être un bain métallique),
- l'agitation de l'interface séparant les phases, et
- l'agitation de la phase peu conductrice en choisissant la fréquence de

modulation dans la partie basse de la gamme.

Dans l'invention, ces agitations sont obtenues sans contact avec les phases.

5           En outre, l'invention permet d'agiter localement l'interface pour minimiser l'effet de barrière de transfert que constitue une sous-couche de diffusion, susceptible de se former à l'interface, et pour renouveler les espèces chimiques à transférer à  
10   travers l'interface, entre les deux phases.

De façon précise, la présente invention a pour objet un dispositif de fusion et d'agitation interfaciale d'un système diphasique, ce dernier comprenant des première et deuxième phases immiscibles,  
15   séparées par une interface, ce dispositif comprenant :

- un creuset, destiné à contenir le système diphasique, et

- des moyens de fusion et d'agitation prévus pour la fusion des première et deuxième phases  
20   et l'agitation de l'interface de celles-ci,

ce dispositif étant caractérisé en ce que les moyens de fusion et d'agitation comprennent

- un inducteur entourant le creuset et
- des moyens d'alimentation de cet  
25   inducteur par un courant variable ayant au moins une composante, cette composante étant apte à agiter l'interface des première et deuxième phases.

Selon un premier mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, le  
30   creuset est un creuset froid et le courant variable a des première et deuxième composantes, la première

composante ayant une première fréquence et étant apte à faire fondre les première et deuxième phases, la deuxième composante ayant une deuxième fréquence, qui est inférieure à la première fréquence, et étant apte à agiter l'interface des première et deuxième phases.

Selon un mode de réalisation préféré de ce dispositif, les moyens d'alimentation de l'inducteur sont aptes à fournir un courant alternatif ayant la première fréquence, ce courant alternatif étant modulé par la deuxième fréquence.

De préférence, les moyens d'alimentation de l'inducteur comprennent

- un condensateur formant, avec l'inducteur, un circuit oscillant qui fonctionne à sa propre fréquence de résonance, cette fréquence de résonance formant la première fréquence,

- un générateur à induction prévu pour alimenter ce circuit oscillant, et

- un générateur de fonction prévu pour imposer la modulation à la deuxième fréquence et pour fournir un courant de consigne au générateur à induction.

De préférence, la puissance du générateur à induction est dans l'intervalle allant de 10 kW à 300 kW.

De préférence, la fréquence de résonance est dans l'intervalle allant de 1 kHz à 20 kHz.

Cette fréquence de résonance vaut, de préférence, environ 14 kHz.

La fréquence de modulation est, de préférence, dans l'intervalle allant de 0,5 Hz à 10 Hz.

Selon un deuxième mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, le creuset est un creuset chaud.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la fréquence de composante qui est apte à agiter l'interface des première et deuxième phases est choisie suffisamment basse pour que la composante soit en outre apte à agiter la deuxième phase, lorsque cette dernière est peu électriquement conductrice, cette deuxième phase étant au-dessus de la première phase.

Le dispositif objet de l'invention peut comprendre en outre des moyens de maîtrise des gradients thermiques à l'intérieur des première et deuxième phases.

Ces moyens de maîtrise peuvent comprendre des écrans ou des suscepteurs.

Le dispositif objet de l'invention s'applique en particulier à la fusion et l'agitation interfaciale d'un système diphasique dans lequel la première phase est un métal et la deuxième phase est un laitier ou un sel.

#### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique et partielle d'un dispositif "monofréquence" connu, à



creuset froid, agité mécaniquement, et a déjà été décrite,

- la figure 2 est une vue schématique et partielle d'un dispositif "bifréquence" conforme à l'invention, à creuset froid, agité électromagnétiquement,

- la figure 3 est un schéma d'un exemple de moyens d'alimentation électrique de l'inducteur du dispositif de la figure 2, et

- la figure 4 est une vue schématique et partielle d'un dispositif conforme à l'invention, à creuset chaud, agité électromagnétiquement.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Un dispositif conforme à l'invention permet d'accélérer les échanges chimiques entre deux phases immiscibles chauffées par induction. Ce dispositif assure conjointement la fusion des deux phases, le brassage de la phase inférieure, qui est par exemple un métal liquide, et l'agitation de l'interface entre les phases.

Conformément à l'invention, l'ensemble de ces fonctions est assuré par l'utilisation d'un creuset froid alimenté par un courant électrique alternatif à deux fréquences, à savoir une haute fréquence et une basse fréquence.

Il est ainsi possible, sans aucun contact avec le milieu réactionnel,

- d'assurer le chauffage et la fonte de la phase inférieure (phase métallique dans l'exemple).

grâce à la composante de haute fréquence du courant inducteur, le chauffage et la fusion de la phase supérieure (laitier oxyde ou salin dans l'exemple) s'opérant par conduction et convection,

5                   - d'assurer le brassage du bain métallique grâce à la même composante de haute fréquence, et

                  - d'assurer l'agitation de l'interface entre la phase métallique et le laitier à l'aide de la composante de basse fréquence du courant.

10                   La figure 2 est une vue schématique d'un dispositif conforme à l'invention, permettant la fusion du système diphasique par l'application d'une double fréquence. Dans ce cas, l'agitation de l'interface 12 est assurée électromagnétiquement et donc sans contact.

15                   Pour réaliser de manière optimale le brassage interne et le chauffage, la haute fréquence est choisie selon le critère classique suivant :

$$0,1 < \delta/R_i < 0,3$$

                  où  $R_i$  représente le rayon intérieur du  
20 creuset 2 et  $\delta$  l'épaisseur de peau électromagnétique dans le métal liquide 8.

                  L'agitation de l'interface 12 est obtenue par un choix judicieux de la composante de basse fréquence du courant inducteur. Celle-ci est définie à  
25 partir des fréquences propres des ondes gravito-capillaires de l'interface de la façon suivante :

$$f_b \approx (g/2\pi R_i)^{1/2}$$

                  où  $f_b$  représente la fréquence de la modulation à basse fréquence du courant inducteur et  $g$   
30 l'accélération de la pesanteur

                  Selon la valeur précise de cette fréquence

de modulation, on peut choisir la longueur d'onde de déformation de l'interface 12 en fonction de l'espèce à transférer et de l'état de passivation de cette interface 12.

5                   Le dispositif de la figure 2 comprend des moyens 18 d'alimentation de l'inducteur 4. Ces moyens 18 permettent d'engendrer un courant de haute fréquence qui est modulé par une basse fréquence.

10                   Un exemple de ces moyens 18 est schématiquement représenté sur la figure 3 et comprend un générateur de fonction 20, un générateur à induction 22 et un condensateur 24 formé par une batterie de condensateurs élémentaires.

15                   Le système formé par l'inducteur 4 et le creuset froid 2 de la figure 2 est caractérisé, sur la figure 3, par une résistance R et une inductance L.

                  L'inducteur est monté en parallèle avec la batterie de condensateurs 24 et forme avec cette dernière un circuit oscillant.

20                   Le générateur à induction 22 a une puissance de 100 kW et alimente ce circuit oscillant. Ce dernier travaille à sa propre fréquence de résonance qui est d'environ 14 kHz.

25                   La modulation est imposée par le générateur de fonction 20.

                  Dans l'exemple de la figure 3, ce générateur 20 est du genre de ceux qui sont commercialisés par la société Metrix.

30                   Le générateur de fonction 20 fournit un courant de consigne à l'entrée du générateur à induction 22. On précise que ce dernier est monté en

parallèle avec la batterie de condensateurs 24.

Le courant inducteur obtenu a l'allure classique d'un signal porteur sinusoïdal, modulé par un autre signal sinusoïdal, le signal porteur ayant la  
5 fréquence propre du circuit oscillant (haute fréquence) tandis que la fréquence de l'autre signal sinusoïdal correspond à la basse fréquence mentionnée plus haut.

Des études préalables ont été faites pour caractériser l'influence de divers types d'agitation  
10 sur les transferts de masse à travers une interface métal/liquide.

Tout d'abord, des expériences de transfert ont été réalisées sur une poche de mercure placée dans une bobine solénoïdale, parcourue par un courant  
15 électrique alternatif. Selon la fréquence de ce courant, il est possible de créer dans le mercure trois types de mouvement :

- un brassage électromagnétique à coeur sans oscillation de surface ( $f > 20\text{Hz}$ )
- 20 • des oscillations de l'interface mercure-électrolyte sans brassage interne ( $f < 10\text{ Hz}$ ).
- un brassage interne avec oscillations de surface superposées, qui constitue un régime mixte ( $10\text{ Hz} < f < 20\text{ Hz}$ ).

25 Les expériences ont été réalisées avec une cuve de diamètre égal à 178 mm et une hauteur de mercure égale à 124 mm.

On a déterminé des coefficients d'échange obtenus en fonction de l'intensité de la vitesse du  
30 fluide, qui est proportionnelle à l'intensité du courant inducteur et l'on a trouvé que la fréquence  $f$

égale à 14 Hz (régime mixte) donne les valeurs les plus élevées des coefficients d'échange.

Il a été possible, à partir des mesures et de l'analyse de similitude, de formuler, pour le  
5 coefficient d'échange  $k$ , une loi semi-empirique qui est valable dans le cas de vitesses importantes et telle que :

$$k = a(D_m/d) (\rho U^2 / (\rho g \gamma))^{1/2} {}^{3/4} \quad [1]$$

$k$  : coefficient d'échange encore appelé  
10 coefficient de transfert de masse (m/s)

$D_m$  : coefficient de diffusion de l'espèce dans sa matrice liquide

$d$  : diamètre de la poche,

$U$  : vitesse caractéristique du bain

15  $\rho$  : masse volumique du bain

$g$  : accélération de la pesanteur

$\gamma$  : tension interfaciale.

$a$  est un coefficient empirique caractérisant l'efficacité de l'agitation. Les valeurs  
20 issues des expériences réalisées avec du mercure sont:

$a$  de l'ordre de  $10^3$  pour l'agitation de surface seule,

$a$  de l'ordre de  $1,3 \times 10^4$  pour l'agitation interne,

25  $a$  de l'ordre de  $2,8 \times 10^4$  à  $6,0 \times 10^4$  pour le régime mixte.

Les mesures du coefficient de transfert de masse à l'interface en fonction des différents types d'agitation ont montré que le transfert le plus  
30 efficace était obtenu dans le cas du régime mixte. Le gain de transfert varie d'un facteur 2 à 5 et

s'explique par les raisons suivantes :

- Le brassage interne est indispensable pour renouveler les espèces chimiques près de l'interface mais il n'est pas suffisant pour rompre la  
5 barrière de diffusion.

- Les ondes de surface ont pour effet de créer une agitation locale à l'interface et de diminuer l'effet de la barrière de diffusion. De plus, des essais spécifiques ont démontré que ce type d'agitation  
10 permet de briser les éventuelles couches de passivation qui perturbent l'ensemble des processus physico-chimiques de transfert.

Des essais d'agitation menés à chaud ont démontré également la nécessité d'avoir une agitation  
15 globale du bain ainsi que de l'interface.

Un essai de transfert a été réalisé à 750 °C entre un bain métallique à base de zinc et une phase saline fluorée.

Sans agitation d'interface, un grand nombre  
20 de particules métalliques sont réduites mais non transférées. Dans ce cas, l'opération de transfert n'est pas réalisée et ne peut se faire dans un temps raisonnable (inférieur à 24h).

Avec agitation interfaciale, les éléments  
25 réductibles sont entièrement transférés vers la phase métallique. Dans ce cas, l'opération de transfert est réalisée en quelques minutes.

Les mêmes observations ont été réalisées avec l'utilisation d'alliages Al-Cu et le sel  $\text{LiF-CaF}_2$ .

30 On a également vérifié que l'utilisation de la voie électromagnétique évite l'inclusion d'éléments

de contamination provenant de systèmes d'agitation mécanique.

Une étude approfondie des phénomènes physico-chimiques qui se produisent dans ces milieux diphasiques a démontré la possibilité de voir apparaître, à l'interface, des couches de passivation induisant des phénomènes galvaniques de part et d'autre de l'interface.

Ainsi, des éléments peuvent être réduits directement au sein du sel par transfert électronique, sans qu'il y ait transfert de ces éléments vers la phase métallique. On se retrouve alors dans le cas d'une phase saline chargée en espèces métalliques réduites n'ayant pas décantées vers la phase métallique.

Le fait de mettre en oeuvre une agitation interfaciale empêche la formation de ces couches passivantes et permet l'épuration totale de la phase saline. Cela met en évidence l'absolue nécessité d'entretenir une agitation interfaciale afin d'épurer totalement l'une des deux phases.

On a estimé numériquement la vitesse caractéristique  $U$  d'un bain d'acier liquide contenu dans un creuset froid de 60 mm de diamètre, engendrant un dôme statique d'une hauteur  $H$  de 30mm :

$$U \approx 0,4 (gH)^{1/2} = 0,22 \text{ m/s.}$$

Pour  $\gamma = 1,7 \text{ N/m}$  et  $\rho = 7200 \text{ kg/m}^3$ , la relation semi-empirique [1] fournit une estimation du coefficient d'échange :  $k = 9,3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ .

Ainsi, pour une hauteur de bain de 60 mm, il est possible de déduire le temps caractéristique de

transfert de masse T tel que :

$$T = V/(kS) \approx 64 \text{ s}$$

où V représente le volume du bain et S l'aire de l'interface et  $a$  est pris égal à  $2,8 \times 10^{-4}$ .

5 Il est aussi possible de déterminer la fréquence optimale pour le transfert de masse. Pour cela et au vu des arguments qui précèdent, il faut exciter des ondes d'interface dont la longueur d'onde est voisine de la longueur capillaire  $\lambda$  qui est telle  
10 que :

$$\lambda = (\gamma/(\rho g))^{1/2}.$$

$\lambda$  est égale à 5 mm pour l'acier liquide. Aussi est-il possible d'en déduire la fréquence de modulation f pour exciter le mouvement de surface :

15 
$$f = (1/(2\pi)) \times (g/\lambda)^{1/2} \approx 7 \text{ Hz}.$$

Il est important de souligner que la présente invention, qui associe un creuset froid et une haute fréquence modulée par une basse fréquence, est digne d'intérêt pour l'ensemble des activités  
20 métallurgiques d'élaboration d'alliages ou d'affinage ainsi que pour les procédés pyrochimiques avancés d'extraction et de séparation.

Elle présente effectivement l'ensemble des avantages liés à l'utilisation d'un creuset froid sans  
25 qu'aucune agitation mécanique ne soit mise en oeuvre.

Ainsi, l'ensemble des problèmes de pollution ou de corrosion liés à l'utilisation d'une agitation mécanique ou pneumatique est résolu.

En outre, la géométrie, l'intensité et les  
30 fréquences du champ des forces électromagnétiques



peuvent être choisies en fonction des effets recherchés.

De plus, il est possible d'ajouter au dispositif conforme à l'invention, que l'on voit sur la figure 2, des éléments tels que des écrans ou  
5 suscepteurs 26 (figure 2), placés de manière à mieux contrôler les gradients thermiques à l'intérieur du bain métallique 8 et du laitier 10.

La présente invention n'est pas limitée à  
10 l'agitation électromagnétique d'un système diphasique dans un creuset froid.

Elle s'applique également à l'agitation électromagnétique d'un système diphasique dans un creuset chaud.

15 Cette dernière application est schématiquement illustrée par la figure 4 où l'on voit un creuset chaud 28, muni de moyens 30 de circulation d'eau permettant de refroidir ce creuset chaud 28.

Ce dernier est entouré d'une résistance  
20 électrique chauffante, qui est schématisée par les traits R et alimentée par une source de courant non représentée. Cette résistance permet de chauffer le creuset 28 par effet Joule et donc de faire fondre le système diphasique (phases 8 et 10) contenu dans ce  
25 creuset.

Le dispositif de la figure 4 comprend aussi un inducteur 32 qui entoure le creuset 28 et qui est alimenté par une source 34 de courant de basse fréquence. Grâce à cet inducteur 32, on crée, dans le  
30 creuset, un champ électromagnétique de basse fréquence, permettant l'agitation de l'interface entre la phase

inférieure 8 (par exemple une phase métallique) et la phase supérieure 10 (par exemple un sel fondu).

La fréquence utilisée est choisie dans l'intervalle allant de 0,5 Hz à 10 Hz.

5           Au lieu de munir le creuset 28 de la résistance chauffante R, on peut placer ce creuset dans un suscepteur S, par exemple en graphite, lui même placé dans l'inducteur 32, et alimenter cet inducteur 34 par une source 36 de courant à deux fréquences, du  
10 genre des moyens (ou source) 18 décrits plus haut, en vue d'une part de chauffer le creuset 28 par induction (au moyen de la fréquence la plus haute), pour que ce dernier chauffe alors le système diphasique qu'il contient, et d'autre part, d'agiter l'interface des  
15 deux phases du système (au moyen de la fréquence la plus basse).

On précise en outre que l'on peut agiter la phase supérieure 10, lorsque cette dernière est peu électriquement conductrice, grâce à la basse fréquence  
20 fournie par la source 18 ou 34 ou 36, si cette basse fréquence est choisie dans la gamme allant de 0,5 Hz à 10 Hz.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de fusion et d'agitation interfaciale d'un système diphasique, ce dernier comprenant des première et deuxième phases immiscibles, 5 séparées par une interface, ce dispositif comprenant :

- un creuset (2, 28), destiné à contenir le système diphasique, et

- des moyens de fusion et d'agitation prévus pour la fusion des première et deuxième phases 10 et l'agitation de l'interface de celles-ci, ce dispositif étant caractérisé en ce que les moyens de fusion et d'agitation comprennent :

- un inducteur (4) entourant le creuset et
- des moyens (18) d'alimentation de cet 15 inducteur par un courant variable ayant au moins une composante, cette composante étant apte à agiter l'interface des première et deuxième phases.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le creuset est un creuset froid (2) et le 20 courant variable a des première et deuxième composantes, la première composante ayant une première fréquence et étant apte à faire fondre les première et deuxième phases, la deuxième composante ayant une deuxième fréquence, qui est inférieure à la première 25 fréquence, et étant apte à agiter l'interface des première et deuxième phases.

3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel les moyens (18) d'alimentation de l'inducteur sont aptes à fournir un courant alternatif 30 ayant la première fréquence, ce courant alternatif étant modulé par la deuxième fréquence.

4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel les moyens d'alimentation de l'inducteur comprennent

- un condensateur (24) formant, avec l'inducteur (4), un circuit oscillant qui fonctionne à sa propre fréquence de résonance, cette fréquence de résonance formant la première fréquence,
- un générateur à induction (22) prévu pour alimenter ce circuit oscillant, et
- un générateur de fonction (20) prévu pour imposer la modulation à la deuxième fréquence et pour fournir un courant de consigne au générateur à induction.

5. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel la puissance du générateur à induction (22) est dans l'intervalle allant de 10 kW à 300 kW.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 et 5, dans lequel la fréquence de résonance est dans l'intervalle allant de 1 kHz à 20 kHz.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, dans lequel la fréquence de la modulation est dans l'intervalle allant de 0,5 Hz à 10 Hz.

8. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le creuset est un creuset chaud (28).

9. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la fréquence de la composante qui est apte à agiter l'interface des première et deuxième phases est choisie suffisamment basse pour que la composante soit en outre apte à agiter la deuxième phase, lorsque

cette dernière est peu électriquement conductrice, cette deuxième phase étant au-dessus de la première phase.

10. Dispositif selon l'une quelconque des  
5 revendications 1 à 9, comprenant en outre des moyens (26) de maîtrise des gradients thermiques à l'intérieur des première et deuxième phases.

11. Dispositif selon la revendication 10,  
dans lequel ces moyens de maîtrise comprennent des  
10 écrans ou des suscepteurs (26).

12. Application du dispositif selon l'une  
quelconque des revendications 1 à 11 à la fusion et  
l'agitation interfaciale d'un système diphasique dans  
lequel la première phase (8) est un métal et la  
15 deuxième phase (10) est un laitier ou un sel.

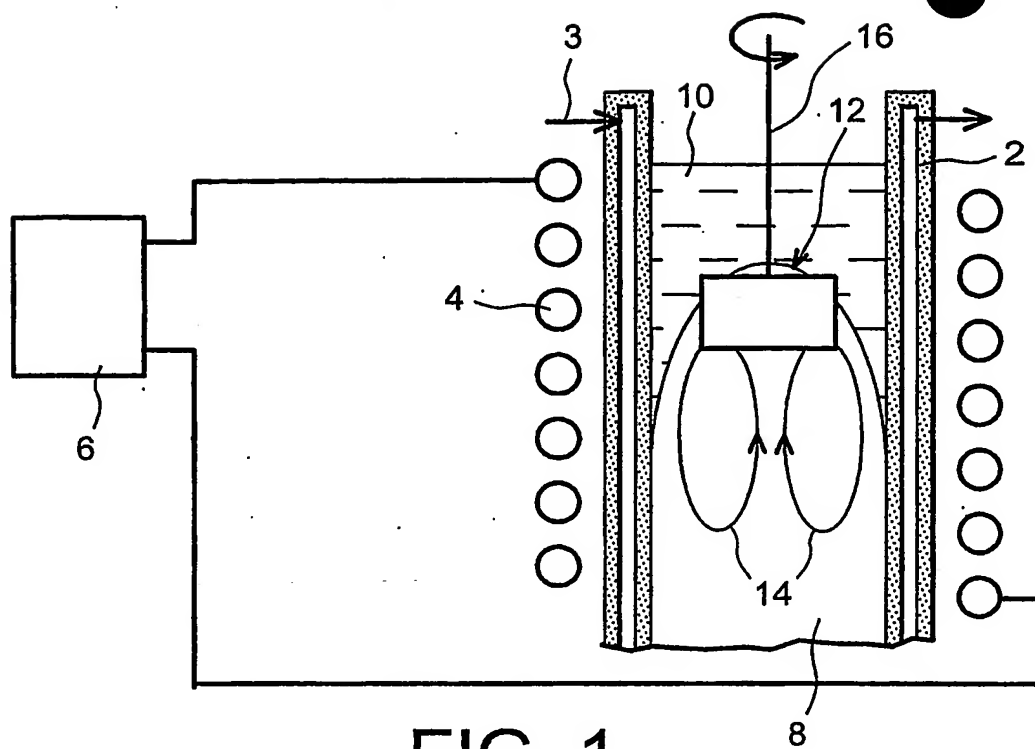


FIG. 1

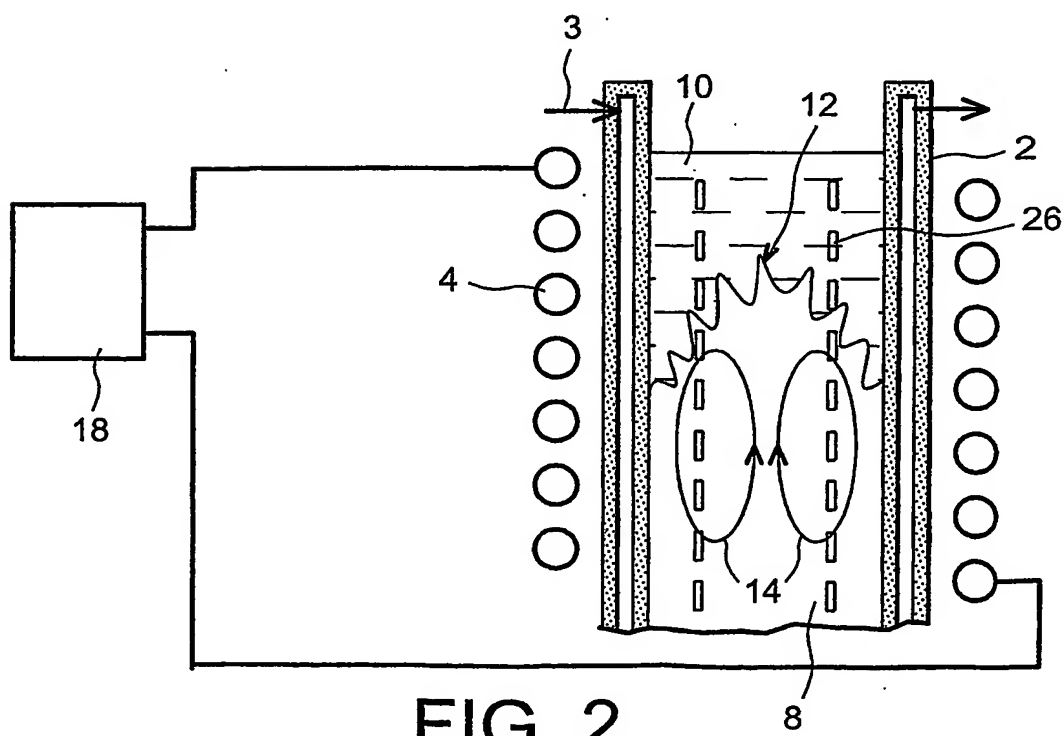


FIG. 2

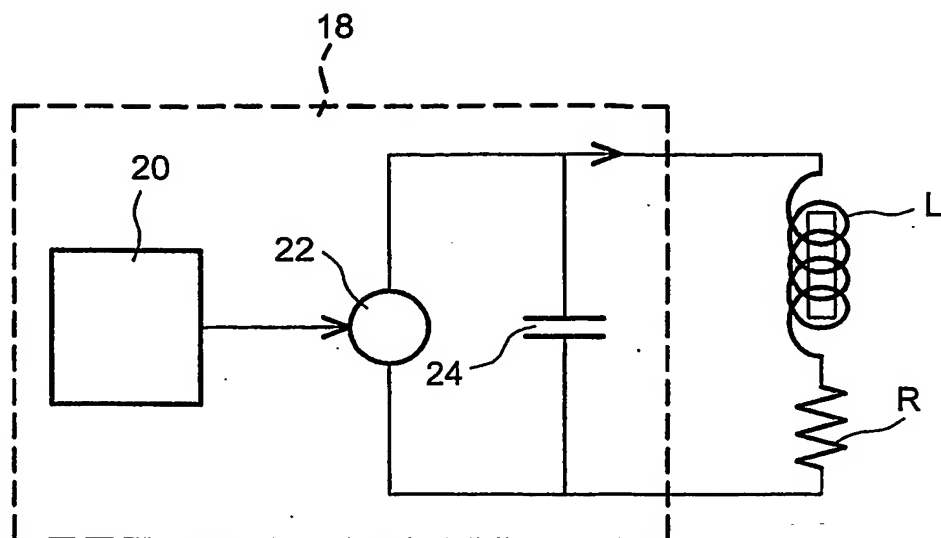


FIG. 3

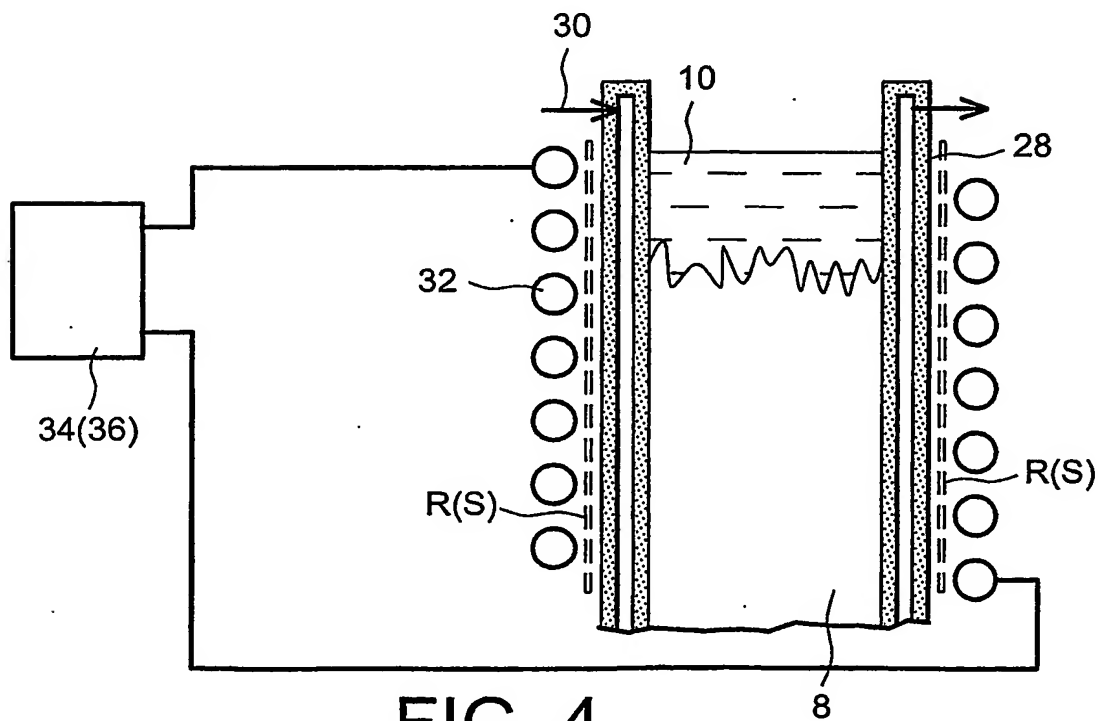


FIG. 4

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/01742

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 B01F13/08 C22B9/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B01F C22B F27D H05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

PAJ, WPI Data, EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 286 934 A (ASEA BROWN BOVERI) 19 October 1988 (1988-10-19) column 3, line 28 -column 4, line 17; claims 1,4-6; figures 1,5-8 ---	1-3,12
X	US 4 778 518 A (GRIMFJAERD GOERAN ET AL) 18 October 1988 (1988-10-18) the whole document ---	1-3,12
X	DE 43 14 482 A (CENTREM SA) 10 November 1994 (1994-11-10) the whole document ---	1,12
A	DE 15 83 445 A (DEMAG ELEKTROMETALLURGIE GMBH) 13 August 1970 (1970-08-13) the whole document --- -/--	1-3,12

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 November 2003

Date of mailing of the international search report

28/11/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Labeeuw, R



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 03/01742

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 87 06332 A (ASEA AB) 22 October 1987 (1987-10-22) the whole document ---	1-3, 12
A	KOTCHNEV E K: "Apparatus for electromagnetic mixing of molten metals in a ladle for sulphur removal" TRANSACTIONS OF THE KIROV URALS POLYTECHNICAL INSTITUTE, vol. 133, 1963, pages 34-35, XP001149360 Sverdlovsk page 34, paragraph 1; figure 2 ---	1, 12
A	US 5 968 223 A (ECKERT C EDWARD) 19 October 1999 (1999-10-19) the whole document ---	1, 12
A	DE 972 054 C (SIEMENS & HALSKE AG BERLIN UND) 14 May 1959 (1959-05-14) the whole document -----	2-4

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 03/01742

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0286934	A	19-10-1988	SE 460621 B	30-10-1989
			DE 3879994 D1	13-05-1993
			DE 3879994 T2	16-09-1993
			EP 0286934 A1	19-10-1988
			JP 63263383 A	31-10-1988
			SE 8701525 A	14-10-1988
			US 4820342 A	11-04-1989
-----				
US 4778518	A	18-10-1988	SE 452991 B	04-01-1988
			DE 3686641 D1	08-10-1992
			DE 3686641 T2	08-04-1993
			EP 0228024 A2	08-07-1987
			JP 62156220 A	11-07-1987
			SE 8506060 A	21-06-1987
-----				
DE 4314482	A	10-11-1994	DE 4314482 A1	10-11-1994
-----				
DE 1583445	A	13-08-1970	DE 1583445 A1	13-08-1970
-----				
WO 8706332	A	22-10-1987	SE 457990 B	13-02-1989
			BR 8707667 A	15-08-1989
			EP 0310604 A1	12-04-1989
			JP 1500526 T	23-02-1989
			SE 8601763 A	17-10-1987
			WO 8706332 A1	22-10-1987
-----				
US 5968223	A	19-10-1999	US 5718742 A	17-02-1998
			US 5630863 A	20-05-1997
			US 5462581 A	31-10-1995
			US 5364450 A	15-11-1994
			US 6066289 A	23-05-2000
			US 6162279 A	19-12-2000
			US 6217631 B1	17-04-2001
			US 6143055 A	07-11-2000
			US 6146443 A	14-11-2000
			US 6299828 B1	09-10-2001
			US 6521015 B1	18-02-2003
			US 2001020760 A1	13-09-2001
			US 5616167 A	01-04-1997
			US 5772725 A	30-06-1998
			AU 699005 B2	19-11-1998
			AU 7360994 A	13-02-1995
			CA 2166687 A1	26-01-1995
			DE 69421296 D1	25-11-1999
			DE 69421296 T2	18-05-2000
			EP 0786015 A1	30-07-1997
			WO 9502707 A1	26-01-1995
			US 5462580 A	31-10-1995
-----				
DE 972054	C	14-05-1959	NONE	
-----				

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 03/01742

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 B01F13/08 C22B9/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 B01F C22B F27D H05B

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

PAJ, WPI Data, EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 0 286 934 A (ASEA BROWN BOVERI) 19 octobre 1988 (1988-10-19) colonne 3, ligne 28 -colonne 4, ligne 17; revendications 1,4-6; figures 1,5-8 ---	1-3,12
X	US 4 778 518 A (GRIMFJAERD GOERAN ET AL) 18 octobre 1988 (1988-10-18) le document en entier ---	1-3,12
X	DE 43 14 482 A (CENTREM SA) 10 novembre 1994 (1994-11-10) le document en entier ---	1,12
A	DE 15 83 445 A (DEMAG ELEKTROMETALLURGIE GMBH) 13 août 1970 (1970-08-13) le document en entier --- -/--	1-3,12

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*&\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

17 novembre 2003

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

28/11/2003

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Labeeuw, R

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR 03/01742

## C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	WO 87 06332 A (ASEA AB) 22 octobre 1987 (1987-10-22) le document en entier ---	1-3, 12
A	KOTCHNEV E K: "Apparatus for electromagnetic mixing of molten metals in a ladle for sulphur removal" TRANSACTIONS OF THE KIROV URALS POLYTECHNICAL INSTITUTE, vol. 133, 1963, pages 34-35, XP001149360 Sverdlovsk page 34, alinéa 1; figure 2 ---	1, 12
A	US 5 968 223 A (ECKERT C EDWARD) 19 octobre 1999 (1999-10-19) le document en entier ---	1, 12
A	DE 972 054 C (SIEMENS & HALSKE AG BERLIN UND) 14 mai 1959 (1959-05-14) le document en entier -----	2-4

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 03/01742

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0286934	A	19-10-1988	SE 460621 B	30-10-1989
			DE 3879994 D1	13-05-1993
			DE 3879994 T2	16-09-1993
			EP 0286934 A1	19-10-1988
			JP 63263383 A	31-10-1988
			SE 8701525 A	14-10-1988
			US 4820342 A	11-04-1989
US 4778518	A	18-10-1988	SE 452991 B	04-01-1988
			DE 3686641 D1	08-10-1992
			DE 3686641 T2	08-04-1993
			EP 0228024 A2	08-07-1987
			JP 62156220 A	11-07-1987
			SE 8506060 A	21-06-1987
DE 4314482	A	10-11-1994	DE 4314482 A1	10-11-1994
DE 1583445	A	13-08-1970	DE 1583445 A1	13-08-1970
WO 8706332	A	22-10-1987	SE 457990 B	13-02-1989
			BR 8707667 A	15-08-1989
			EP 0310604 A1	12-04-1989
			JP 1500526 T	23-02-1989
			SE 8601763 A	17-10-1987
			WO 8706332 A1	22-10-1987
US 5968223	A	19-10-1999	US 5718742 A	17-02-1998
			US 5630863 A	20-05-1997
			US 5462581 A	31-10-1995
			US 5364450 A	15-11-1994
			US 6066289 A	23-05-2000
			US 6162279 A	19-12-2000
			US 6217631 B1	17-04-2001
			US 6143055 A	07-11-2000
			US 6146443 A	14-11-2000
			US 6299828 B1	09-10-2001
			US 6521015 B1	18-02-2003
			US 2001020760 A1	13-09-2001
			US 5616167 A	01-04-1997
			US 5772725 A	30-06-1998
			AU 699005 B2	19-11-1998
			AU 7360994 A	13-02-1995
			CA 2166687 A1	26-01-1995
			DE 69421296 D1	25-11-1999
			DE 69421296 T2	18-05-2000
			EP 0786015 A1	30-07-1997
			WO 9502707 A1	26-01-1995
			US 5462580 A	31-10-1995
DE 972054	C	14-05-1959	AUCUN	